



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000069594 A

(43) Date of publication of application: 03.03.00

(51) Int. Cl.

H04R 17/10
G10K 9/122
H03H 3/08
H03H 9/17
H03H 9/25

(21) Application number: 11154956

(22) Date of filing: 02.06.99

(30) Priority: 02.06.98 US 98 88964

(71) Applicant: HEWLETT PACKARD CO <HP>

(72) Inventor: RUBY RICHARD C
DESAI YOGESH
BRADBURY DONALD R

(54) ACOUSTIC RESONATOR AND MANUFACTURE
OF THE SAME

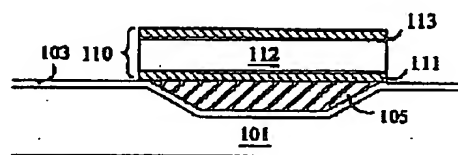
110 bridging over the dent 102 can be formed.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To unnecessitate any excessively long etching time for preparing a void under a device by preparing a void in a substrate, accumulating various layers constituting the device, and then packing sacrificial materials which can be removed from the void in a short time.

SOLUTION: A dent is etched on a substrate 101 which is a silicon wafer. A thin layer as an electric insulating layer 103, i.e., a thermal oxide is made to grow on the surface of the substrate 101. Sacrificial materials 105 made of phosphoric silica glass (PSG) are accumulated on the substrate 101, and the surface is polished and flattened, and the part outside the dent is removed. An electrode 111 is accumulated by Mo sputtering, and this electrode 111 is provided with a conductive sheet in which the means square root of height fluctuation is less than 2 μm . Then, a piezoelectric material layer 112 is accumulated by AlN sputtering. Finally, an electrode 113 is accumulated by Mo sputtering. A via is opened in the sacrificial materials 105, and the phosphoric silica glass is removed by etching. Thus, an acoustic resonator



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-69594

(P2000-69594A)

(43) 公開日 平成12年3月3日(2000.3.3)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

サーチコード(参考)

H 0 4 R 17/10

H 0 4 R 17/10

G 1 0 K 9/122

H 0 3 H 3/08

H 0 3 H 3/08

9/17

F

9/17

9/25

Z

9/25

G 1 0 K 9/12

1 0 1 C

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号

特願平11-154956

(22) 出願日

平成11年6月2日(1999.6.2)

(31) 優先権主張番号

0 8 8, 9 6 4

(32) 優先日

平成10年6月2日(1998.6.2)

(33) 優先権主張国

米国 (U S)

(71) 出願人

398038580

ヒューレット・パカード・カンパニー

HEWLETT-PACKARD COM
PANY

アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル

ト ハノーバー・ストリート 3000

(72) 発明者

リチャード・シー・ルービー

アメリカ合衆国カリフォルニア州メンロ・

パーク ナインス・アベニュー 567

(74) 代理人

100078053

弁理士 上野 英夫

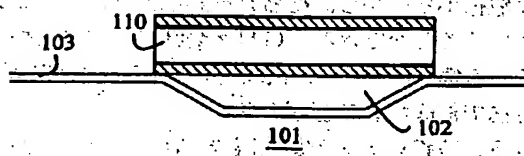
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 音響共振器とその製作方法

(57) 【要約】

【課題】 圧電素子材料の層が二つの金属電極の間に挟み込まれ、圧電素子材料の周囲を支持することにより中心部が空中に吊されている構造を有する電子回路用フィルタ用の共振器の製造において、従来方法では、歩留まりが悪いあるいはエッチング時間が長い等の問題がある。本願発明では改良された製造方法を開示する。

【解決手段】 窪みを有する基板上にエッチングし易い犠牲層を堆積する。その表面を研磨し、その上に一方の電極、圧電素子および他の電極を順に堆積する。次に犠牲層に穴を開けて犠牲層を除去する。これにより、従来の問題を解決する製造方法を実現する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 (a) 高さのRMS変動が $2\mu\text{m}$ 未満である導電シートを備えた第1の電極と、 (b) 導電シートを備えた第2の電極と、 (c) 前記第1および第2の電極の間に挟み込まれた圧電材料の層とを、有することを特徴とする音響共振器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、音響共振器に関し、更に詳細に記せば、電子回路用フィルタとして使用できる共振器に関する。

【0002】

【従来の技術】 電子機器のコストおよび大きさを減らす必要性からフィルタ要素を小さくする必要性が絶えず続いてきている。セル式電話およびミニチュア・ラジオのような民生用電子装置は、それに入っている構成要素の大きさおよびコストの双方に厳しい制限を加えている。このような多数の装置は、精密な周波数に同調させなければならないフィルタを利用している。したがって、廉価でコンパクトなフィルタ装置を提供する努力が続いている。

【0003】 これらの必要性を満たす可能性のある一つのフィルタ要素は、音響共振器から構成されている。これらの装置は、薄膜圧電(PZ)材料内のバルク弾性音響波を利用している。一つの簡単な構成では、PZ材料の層が二つの金属電極の間に挟み込まれている。挟み込み構造は、周囲を支持することにより空中に吊されている。二つの電極の間に印加電圧により電界が発生すると、PZ材料は、電気エネルギーの幾らかを音波の形の機械エネルギーに変換する。音波は、電界と同じ方向に伝播し、電極/空気境界面で反射する。

【0004】 機械的に共振している時、装置は電気共振器のように見え、したがって、装置はフィルタとして働くことができる。装置の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが、伝播する音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。本願発明では音波の周波数は、電極に印可される電気信号の周波数である。音の速度は、光の速度より多数倍小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz範囲の用途のための共振器を、直径100ミクロン未満、厚さ数ミクロン未満の構造寸法で構成することができる。

【0005】 薄膜バルク音響共振器(Thin Film Bulk Acoustic Resonators、以下FBAR)およびフィルタ付き積み重ね薄膜バルク音響共振器(Stacked Thin Film Bulk Wave Acoustic Resonators and Filters、以下SBAR)の中心部は、厚さ約1から2ミクロンのスパッタ圧電薄膜である。上方および下方電極は、電気リードとして働き圧電体を挟み込んで圧電体を貫く電界を与える。圧電体は、次に電界エネルギーの一部を力学エネルギーに変換する。時間変化する「応力/

歪み」エネルギーが、時間変化する印加電界エネルギーにตอบสนองして形成される。

【0006】 共振器として動作させるには、挟み込み圧電膜を空中に吊して音波を膜内に捕らえる空気/結晶境界面を設けなければならない。装置は通常、下方電極、PZ層、および次に上方電極を堆積させることにより基板表面上に作られる。したがって、空気/結晶境界面は装置の上側に既に存在している。第2の空気/結晶境界面を装置の下側に設けなければならない。この第2の空気/結晶境界面を得るのに 従来技術の方法が幾つか存在する。

【0007】 第1の方法は、基板を形成しているウェーハをエッチングして除去することに関係している。基板がシリコンであれば、シリコンを加熱KOHを使用して裏側からエッチングし去る。これにより、その縁で支持されたウェーハの前側に構成された共振器が残る。このようなウェーハを貫いて開けられた孔は、ウェーハを非常に繊細にし且つ、非常に破壊しやすくする。更に、これらの54.7度のエッチング傾斜でKOHのような湿式エッチングを行なうと、最終製品の密度、したがってウェーハ上のFBAR/SBARの歩留まりが制限される。たとえば、標準の530 μm 厚さのシリコンウェーハの上に構成された約150 μm ×150 μm の横寸法を有する装置は、約450 μm ×450 μm の裏側エッチング孔を必要とする。したがって、ウェーハの約1/9を生産に利用できるだけである。

【0008】 装置の下に空気/結晶境界面を設ける従来技術の第2の方法は、空気ブリッジ式FBAR/SBAR装置を作ることである。通常、最初に犠牲層(Sacrificial layer)を設置し、次に装置をこの犠牲層の上に製作する。プロセスの終わりまたは終わり近くに、犠牲層を除去する。処理はすべて前側で行なわれるから、この方法は、両側の整列および大きい面積の裏側孔を必要としない。しかし、この方法には固有の困難が無いわけではない。第1に、この方法は大型装置に実施するのは困難である。通常、犠牲層は熱的に成長させたSiO₂であり、これはHFを使用して除去される。エッチング割合は、約1000から3000Å/分である。約150 μm ×150 μm またはそれより大きい装置の下方区域をエッチングするには、500分を超えるエッチング時間が必要である。過度に長いことに加えて、金属電極を30分を超える期間腐食液に浸すと金属電極が圧電層から剥離するに至る。

【0009】 従来技術の第3の方法は、装置の下に空隙が存在しないので、固体取付け共振器(SMR)といわれる。装置の下に大きい音響インピーダンスが音響的ブラッグ反射鏡を使用して作り出される。ブラッグ反射鏡は、交互に高低の音響インピーダンス材料の層から作られる。各層の厚さは共振周波数の1/4波長に固定される。十分な層により、圧電体/電極境界面における有効インピーダンスは、装置の音響インピーダンスよりはる

かに高く、したがって、圧電体内の音波を有効に捕らえる。

【0010】この方法は、周辺部が固定され中心部が自由に振動できる膜を作るという前述の問題を回避しているが、この方法には多数の問題点がある。ブラッグ反射鏡に使用する材料の選択は、金属層はフィルタの電気性能を劣化させる寄生コンデンサを形成するのでこれらの層に使用できないから、制限される。利用可能な電極材料から作られる層の音響インピーダンスの差の程度は大きくない。したがって、更に多数の層が必要である。これは、各層にかかる応力を良く制御しなければならないので製作プロセスを複雑にする。多数層の後では、装置は、他の能動要素を組込むのに導電的でなくなる。10ないし14の層を貫くバイアを作るのは困難だからである。更に、これまでに報告された装置は、空気ブリッジを有する装置より有効結合係数がかかなり低い。その結果、SMRに基づくフィルタは、空気ブリッジに比較して少ない有効帯域幅を示す。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】 広くいえば、本発明の目的は、改良されたFBAR/SBAR装置を提供することである。

【0012】本発明の他の目的は、基板の裏エッチングを必要としないFBAR/SBAR装置を提供することである。

【0013】本発明の更に他の目的は、装置の下に空隙を作るのに過度に長いエッチング時間を必要としないFBAR/SBAR装置を提供することである。

【0014】本発明のこれらのおよび他の目的は、当業者には、本発明の下記詳細説明および付図から明らかになるであろう。

【0015】

【課題を解決するための手段】 本発明は、音響共振器およびこれを作る方法である。本発明による共振器は、第1の電極と第2の電極との間に挟み込まれた圧電材料の層を備えている。第1の電極は、高さ変動のRMS（2乗平均平方根）が $2\mu\text{m}$ 未満の導電シートを備えている。共振器は、その上に共振器が構成されている基板の中の空洞を橋渡ししている。共振器は、基板内に空洞を作り、これに共振器を構成する色々な層を堆積した後短時間で空洞から除去し得る犠牲材料を詰めることにより構成される。詰まった空洞の表面を磨いて高さのRMS変動を $0.5\mu\text{m}$ 未満とする。磨いた表面に第1の電極を、金属層の高さのRMS変動を $2\mu\text{m}$ 未満に確保した厚さに堆積させる。圧電層を第1の電極上に堆積させ、次に第2の電極を圧電層上に堆積させる。次に空洞にバイア（穴）を開け、バイアを通して材料を除去し、犠牲材料を空洞から除去する。好適な犠牲材料は、燐石英ガラスである。

【0016】

【発明の実施の形態】 それぞれ、FBARおよびSBARの断面図である図1および図2を参照して本発明を一層容易に理解できる。図1で、FBAR20は、上方電極21および下方電極23を備え、これらは圧電（PZ）材料22のシートの一部を挟み込んでいる。好適なPZ材料は窒化アルミニウム（AlN）である。共振器20に使用される電極は、好適にはモリブデンから作られるが、他の材料を使用する実施形態も構成可能である。

【0017】これらの装置は、薄膜PZ材料内のバルク弾性音響波を使用している。印加電圧により二つの電極の間に電界が生ずると、PZ材料は電気エネルギーの一部を音波の形の機械的エネルギーに変換する。音波は電界と同じ方向に伝播し、電極/空気境界面で反射する。

【0018】機械的に共振している時、装置は、電気共振器のように見え、したがって、装置は、ノッチフィルタとして動作することができる。装置の機械的共振は、音波が伝播する材料の厚さが、伝播する音波の半波長と等しくなる周波数で発生する。本願発明では音波の周波数は、電極に印可される電気信号の周波数である。音の速度は光の速度より多数桁小さいから、得られる共振器を極めてコンパクトにすることができる。GHz範囲の用途に対する共振器を直径が約 $100\mu\text{m}$ および厚さが数 μm オーダーの物理的寸法で構成することができる。

【0019】次にSBAR40の断面図である図2を参照する。SBARは、帯域フィルタと類似の電気的機能を与える。SBAR40は基本的には機械的に結合されている二つのFBARフィルタである。PZ層41の共振周波数で電極43および44を横断する信号は、音響エネルギーをPZ層42に伝える。PZ層42内の機械的振動は、PZ材料により電極44および45を横断する電気信号に変換される。

【0020】FBARおよびSBARが本発明に従って構成される方法は、その上にFBAR110を本発明の方法により構成するウェーハ101の一部の断面図である図3-図7を参照して更に容易に理解できる。本発明は、犠牲層に基づく従来技術の方法で利用されている熱酸化物よりはるかに容易にエッチングされる材料から構成される犠牲層を利用している。本発明の好適実施形態では、犠牲層は、燐石英ガラス（PSG）から構成されている。

【0021】図3において、窪み102が、好適には集積回路製作に利用されているタイプの通常のシリコンウェーハである基板101にエッチングされている。窪みの深さは好適には $30\mu\text{m}$ 未満である。FBARの下空洞の深さは圧電層により生ずる変位に適応するのに十分なだけにする必要があることに注目すべきである。したがって、数 μm の深さの窪みで十分である。

【0022】熱酸化物103の薄層をウェーハの表面に成長させてPSGから燐が層内に拡散しないようにする。このような拡散は、シリコンを導体に変換し、これが最

終装置の電気的動作を妨害することになる。

【0023】図4で、PSG層がウェーハ上に堆積されている。PSGは、シランおよび P_2O_5 を使用して約450°Cまでの温度で堆積され、約8%燐である軟ガラス様物質を形成する。この低温プロセスは、当業者に周知であり、したがってここでは詳細に説明しない。PSGは、比較的低温で堆積させることができ且つ、希釈 $H_2O:H_2F$ 溶液で、非常に高いエッチング割合でエッチングされる非常にクリーンな不活性材料であるから、犠牲層に対して好適な選択である。10:1の希釈割合で毎分約3 μm のエッチング割合が得られる。

【0024】残念なことに、本来のPSG犠牲層は、音響共振器の構成にとって不十分な基台である。原子レベルでこのような堆積膜の表面は、原子的にみると非常に粗い。FBAR/SBAR形式の音響共振器は、結晶が電極の平面に垂直な円柱を成して成長する圧電材料を必要とする。PSG層の表面に十分に平行な圧電膜を成長させる試みが行なわれたが、最良でも、粗面上の多数の小面が多様な方向に結晶成長を始めるので圧電効果を殆どまたは全く示さない不十分な多結晶材料しか生じなかった。

【0025】本発明は、PSGの表面を磨いて自動的に滑らかな表面を与えることによりこの困難を克服している。図5を参照すると、PSG層105の表面を最初スラリで磨くことにより平面化して窪み102の外側のPSG層の部分除去する。次に残っているPSGを更に精製されたスラリを使用して磨くことができる。代替方法として、磨き時間を追加するのが好ましくなければ一つの更に精製したスラリを二つの磨きステップに使用することができる。目標は、「ミラー」状仕上げを生ずることである。

【0026】これらウェーハのクリーニングも重要である。スラリはウェーハ上に少量のシリカ粗粉を残す。この粗粉を除去せねばならない。本発明の好適実施形態では、これをポリテックス (Polytex™) (コネチカット州、Rodel社) のような堅く硬いパッドの付いた第2の研磨輪を使用して行なっている。潤滑剤として脱イオン水を使用している。磨いてから、最終クリーニングステップの準備が完了するまでウェーハを脱イオン水中に入れておく。ウェーハを、最後の磨きステップと最後のクリーニングステップとの間で乾燥させるべきではない。最後のクリーニングステップは、ウェーハを色々な化学薬品の入っている一連のタンクに漬けることから成る。各タンクに超音波攪拌を加える。このようなクリーニング台は当業者に周知であり、したがって、ここでは詳細に説明しない。アメリカ合衆国カリフォルニア州にあるAmeramadeから入手できるメガソニック (Megasoni c™) 形式のクリーニング機が適当であることがわかっている。

【0027】本発明は、このような滑らかな表面が、圧

電層の「種」となる結晶構造を備えていないという事実にかかわらず優れた圧電特性を実証する非常に規則正しい構造のc軸圧電材料の堆積に対する基板を与えるという驚異的発見に基づいている。

【0028】粗粉は、シリカ微粒子から構成されている。本発明の好適実施形態では、シリカ微粒子のアンモニア主体スラリであるローデル、#1508 (Rodel, #1508) 製のスラリを利用している。

【0029】上の説明は特定の研磨およびクリーニングの様式を示してきたが、必要な滑らかさの表面を与えるどんな研磨およびクリーニングの様式をも利用することができる。本発明の好適実施形態では、最終表面は、原子力顕微鏡プローブで測って0.5 μm 未満の高さのRMS変動を有する。

【0030】表面をきれいにしてから、FBAR110の下方電極111をを図6に示すように堆積する。好適な電極材料は、モリブデンである。しかし、他の材料が当業者には明らかであろう。たとえば、電極をAl、W、Au、Pt、またはTiから構成できる。その低い熱弾性損失のためモリブデンが好適である。たとえば、Moの熱弾性損失は、Alより約56倍少ない。

【0031】下方電極の厚さも重要である。厚い層は、薄い層より粗い。上に記したように、圧電層の堆積のための滑らかな表面を維持することは、最終共振器の性能にとって非常に重要である。したがって、下方電極の厚さは、好適には1000Å未満である。Moは好適にはスパッタリングにより堆積される。これは、2 μm 未満の高さのRMS変動を有するMo層を与える。

【0032】下方電極を堆積し終わってから、電極層112を堆積する。圧電層用好適材料は、AlNであり、これもスパッタリングにより堆積される。圧電層を形成するのにAlNを堆積することは当業者には周知であるから、この堆積プロセスをここでは詳細に説明しないことにする。本発明の好適実施形態では、圧電層の厚さは、0.1から10 μm の間にある。

【0033】最後に、上方電極113を堆積させる。上方電極も好適にはMoから構成される。しかし、この電極の厚さは、圧電層の堆積に影響しないので、あまり重大ではない。

【0034】FBAR構造を堆積してから、バイアを下の犠牲層105に開け、図7に示すように、希釈 $H_2O:H_2F$ 溶液でエッチングすることによりPSGを除去する。これにより元の窪み102の上に橋架けされたFBAR110が残る。

【0035】上の例はFBARの構成を利用してきた。しかし、当業者には上の説明から、SBARを同じプロセスを使用して構成できることが明らかであろう。SBARの場合には、別の圧電層および電極を堆積しなければならない。第2の圧電層は「FBAR」の上方電極の上に構成されているから、上方電極の厚さも1000Åに維

持して第2の圧電層を堆積するための適切な表面を与えなければならない。

【0036】本発明の上述の実施形態は、PSGから構成された犠牲層を利用しているが、他の材料をも使用することができる。たとえば、BPSG (Boron-Phosphor-Silicate-Glass: ボロン、リン、シリコン、ガラス) またはスピン・ガラスのような他の形態のガラスを利用できる。他に、スピニングにより材料上に、または特殊チャンバー内に置かれた基板の上に、堆積できるポリビニール、ポリプロピレン、およびポリスチレンのような、プラスチックがある。これらの犠牲層は、有機除去材あるいは O_2 プラズマエッチングによって除去することができる。PSG犠牲層の場合のように、堆積したこれらの材料の表面は原子的には滑らかでないで、これら材料での研磨も非常に重要である。

【0037】以上、本発明の実施例について詳述したが、以下、本発明の各実施態様の例を示す。

【0038】(実施態様1)

(a) 高さのRMS変動が $2\mu m$ 未満である導電シートを備えた第1の電極(23、45、111)と、(b) 導電シートを備えた第2の電極(21、44、113)と、(c) 前記第1および第2の電極の間に挟み込まれた圧電材料の層(22、42、112)とを、有することを特徴とする音響共振器(20、40、110)。

【0039】(実施態様2) 前記第1の電極(23、45、111)はモリブデンを含むことを特徴とする実施態様1に記載の音響共振器(20、40、110)。

【0040】(実施態様3) 前記圧電材料の層(22、42、112)はAlNを含むことを特徴とする実施態様1に記載の音響共振器(20、40、110)。

【0041】(実施態様4) 更に、表面に空洞(102)を有する基板(101)を備え、前記第1の電極(23、45、111)が前記空洞(102)に橋を架けていることを特徴とする実施態様1に記載の音響共振器(20、40、110)。

【0042】(実施態様5) 前記空洞(102)の深さは $30\mu m$ 未満であることを特徴とする実施態様4に記載の音響共振器(20、40、110)。

【0043】(実施態様6) 前記基板(101)の前記表面は、電気絶縁層(103)を備えていることを特徴とする実施態様4に記載の音響共振器(20、40、110)。

【0044】(実施態様7) 上面を有する基板(101)上に音響共振器(20、40、110)を製作する方法であって、(a) 前記上面に窪み(102)を作るステップ、

(b) 前記窪み(102)に犠牲材料(105)を詰めるステップであって、前記詰めた窪み(102)の上面は、前記基板(101)の前記上面と同レベルになり、前記上面は $0.5\mu m$ 未満の高さのRMS変動を有するようにするステップ、(c) 第1の電極(23、45、111)を前記上面に堆積させるステップ、(d) 圧電材料の層(22、42、

112)を前記第1の電極(23、45、111)の上に堆積させるステップ、(e) 第2の電極(21、44、113)を前記圧電材料の層(22、42、112)の上に堆積させるステップ、および(f) 前記犠牲材料(105)を前記窪み(102)から除去するステップ、を備えていることを特徴とする方法。

【0045】(実施態様8) 前記犠牲材料(105)は、PSG、BPSG、スピン・ガラス、ポリビニール、ポリプロピレン、およびポリスチレンを含む群から選択された材料を含むことを特徴とする実施態様7に記載の方法。

【0046】(実施態様9) 前記窪み(102)に詰める前記ステップは、(a) 前記犠牲材料(105)の層を前記窪み(102)の上に堆積させるステップ、(b) 前記堆積した層を平面にするステップ、および(c) 前記平面化した層を磨くステップ、を含むことを特徴とする実施態様7に記載の方法。

【0047】(実施態様10) 前記犠牲材料(105)の層を堆積する前に、電気絶縁材料(103)の層を前記基板(101)の表面および窪み(102)に設けるステップであって、前記電気絶縁材料が、前記犠牲材料(105)中の要素が前記基板(101)の中に拡散しないようにするステップを含むことを特徴とする実施態様9に記載の方法。

【0048】(実施態様11) 前記第1の電極(23、45、111)はモリブデンを含むことを特徴とする実施態様7に記載の方法。

【0049】(実施態様12) 前記圧電材料の層(22、42、112)はAlNを含むことを特徴とする実施態様7に記載の方法。

【0050】(実施態様13) 前記窪み(102)の深さは $30\mu m$ 未満であることを特徴とする実施態様7に記載の方法。

【0051】本発明に対する色々な修正案が当業者にはこれまでの説明および付図から明らかになるであろう。したがって、本発明を付記した特許請求の範囲によってのみ限定するものとする。

【図面の簡単な説明】

【図1】FBAR共振器の断面図である。

【図2】SBAR共振器の断面図である。

【図3】本願発明によりFBARが構成されるウェーハの断面図の一部である。

【図4】本願発明によりFBARが構成されるウェーハの断面図の一部である。

【図5】本願発明によりFBARが構成されるウェーハの断面図の一部である。

【図6】本願発明によりFBARが構成されるウェーハの断面図の一部である。

【図7】本願発明によりFBARが構成されるウェーハの断面図の一部である。

【符号の説明】

20、40、110：音響共振器

21、23、44、45、111、113：電極

22、112：圧電材料層

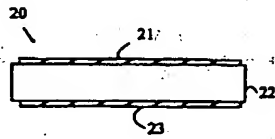
101：基板

102：空洞

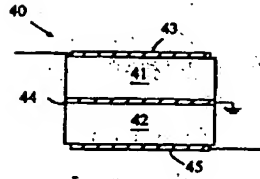
103：電気絶縁層

105：犠牲材料

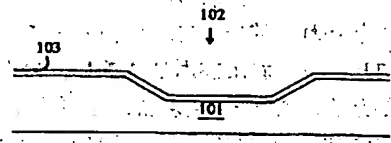
【図1】



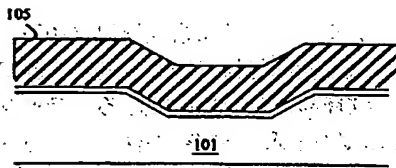
【図2】



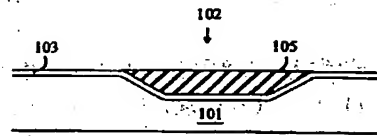
【図3】



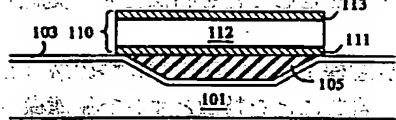
【図4】



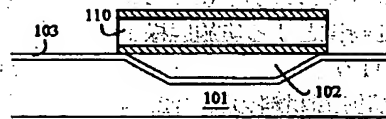
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(72)発明者 ヨグジュ・デサイ
 アメリカ合衆国カリフォルニア州サンノゼ
 ミードーゲート・ウェイ 2202

(72)発明者 ドナルド・アール・ブラドベリー
 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
 ト・ルイス・ロード 2004